

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
ZAVOD ZA EKOLOGIJU I UZGAJANJE ŠUMA
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ
UZGAJANJE I UREĐIVANJE ŠUMA S LOVNIM GOSPODARENJEM

PAVAO FRKOVIĆ

MIKROKLIMA ŠUMSKIH OTVORA U BUKOVO-JELOVIM
ŠUMAMA

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2017.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ŠUMARSKI ODSJEK

MIKROKLIMA ŠUMSKIH OTVORA U BUKOVO-JELOVIM ŠUMAMA

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Uzgajanje i uređivanje šuma s lovnim gospodarenjem

Predmet: Opća i krajobrazna ekologija

Ispitno povjerenstvo:

1. doc. dr. sc. Damir Ugarković
2. prof. dr. sc. Ivica Tikvić
3. doc. dr. sc. Stjepan Mikac

Student: Pavao Frković

JMBAG: 0068211118

Broj indeksa: 654/2015

Datum odobrenja teme: 20.04.2017.

Datum predaje rada: 15.09.2017.

Datum obrane rada: 22.09.2017.

Zagreb, rujan, 2017.

Dokumentacijska kartica

Naslov	Mikroklima šumskih otvora u bukovo-jelovim šumama
Title	Microclimate of forest gaps in bleech fir forest
Autor	Pavao Frković
Adresa autora	Ulica 25. satnije ZNG 12, 53000 Gospić
Izradu rada pomogli	Dr. sc. Ivan Perković, Dalibor Funarić univ. bacc. ing. silv., Ante Ivić univ. bacc. ing. silv.
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Doc. dr. sc. Damir Ugarković
Godina objave	2017.
Obujam	Broj stranica: 29, broj tablica: 9, broj slika: 26, broj navoda literature: 19
Ključne riječi	Mikroklima, šumski otvor, bukva, jela
Key words	Microclimate, forest gap, common beech, silver fir
Sažetak	<p>Odumiranje i pomlađivanje jela i bukve u zajednici <i>Omphalodo - Fagetum</i> Marinček et al. 1992 je značajno za hrvatsko šumarstvo s obzirom da je obična bukva najrasprostranjenija vrsta u Hrvatskoj, a obična jela vrsta koja s njom tvori vrijedne i važne preborne sastojine. Prikupljanjem i analiziranjem podataka o mikroklimi u progalama koje nastaju ili prirodnim propadanjem starih stabala ili posljedicom gospodarenja možemo bolje razumijeti kako i na koji način određeni klimatski elementi utječu na pomlađivanje, održavanje te uspjeh formiranja sklopa krošanja.</p>

	IZJAVA O IZVORNOSTI RADA	OB ŠF 05 07
		Revizija: 1
		Datum: 28.6.2017.

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mogega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

vlastoručni potpis

Pavao Frković

U Zagrebu, 22.09.2017.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. CILJ ISTRAŽIVANJA	4
3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA.....	5
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	11
5. RASPRAVA	24
6. ZAKLJUČAK.....	29
7. LITERTURA	

POPIS SLIKA

Slika 1. Interakcije između klime i šumske sastojine (izvor: Aussenac 2000).	2
Slika 2. Karta šumarije Fužine	5
Slika 3. Klimadijagram za meteorološku postaju Vrelo Ličanke.....	6
Slika 4. Shema pokusa i osnovni podatci o pokusnim plohama	7
Slika 5. Skica plana mjerenja mikroklimе u šumskom otvoru	8
Slika 6. Očitavanje podataka s meteorološke stanice Spectrum	9
Slika 7. Meteorološka stanica Spectrum u malom šumskom otvoru	9
Slika 8. Meteorološka stanica Spectrum u velikom šumskom otvoru	10
Slika 9. Svjetlomjer ili luxmetar	10
Slika 10. Odnos količine oborine (mm) u otvoru i šumskoj sastojini	12
Slika 11. Vlaga tla (%) na različitim pozicijama velikog šumskog otvora i kontrole.....	13
Slika 12. Temperatura tla (°C) na različitim pozicijama velikog šumskog otvora i kontrole..	14
Slika 13. Relativno užitno svjetlo (%) na različitim pozicijama velikog šumskog otvora i kontrole.....	14
Slika 14. Vlaga tla (%) na različitim pozicijama malog šumskog otvora i kontrole.....	16
Slika 15. Temperatura tla (°C) na različitim pozicijama malog šumskog otvora i kontrole....	17
Slika 16. Relativno užitno svjetlo (%) na različitim pozicijama malog šumskog otvora i kontrole.....	18
Slika 17. Vlaga tla (%) u velikom i malom šumskom otvoru	19
Slika 18. Vlaga tla (%) na rubu velikog i malog šumskog otvora	20
Slika 19. Temperatura tla (°C) u velikom i malom šumskom otvoru	20
Slika 20. Temperatura tla (°C) na rubu velikog i malog šumskog otvora.....	21
Slika 21. Relativno užitno svjetlo u otvorima i rubovima.....	21
Slika 22. Usporedba vlage tla (%) u sastojinama različite vitalnosti	22
Slika 23. Usporedba temperature tla (°C) u sastojinama različite vitalnosti.....	23
Slika 24. Relativno užitno svjetlo (%) u sastojinama različite vitalnosti	23
Slika 25. Skica nepomlađenog šumskog otvora	24
Slika 26. Skica pomlađenog šumskog otvora.....	25

POPIS TABLICA

Tablica 1. Deskriptivna statistika mikroklimatskih elemenata za veliki šumski otvor	11
Tablica 2. Deskriptivna statistika mikroklimatskih elemenata za kontrolnu plohu	11
Tablica 3. Usporedba mikroklimatskih elemenata velikog šumskog otvora i kontrole	12
Tablica 4. Deskriptivna statistika vlage tla i temperature tla za veliki šumski otvor	13
Tablica 5. Deskriptivna statistika mikroklimatskih elemenata za mali šumski otvor	15
Tablica 6. Usporedba mikroklimatskih elemenata malog šumskog otvora i kontrole	15
Tablica 7. Deskriptivna statistika vlage tla i temperature tla za mali šumski otvor	16
Tablica 8. Usporedba mikroklimatskih elemenata velikog i malog šumskog otvora	19
Tablica 9. Deskriptivna statistika mikroklimatskih elemenata za sastojine različite vitalnosti	22

1. UVOD

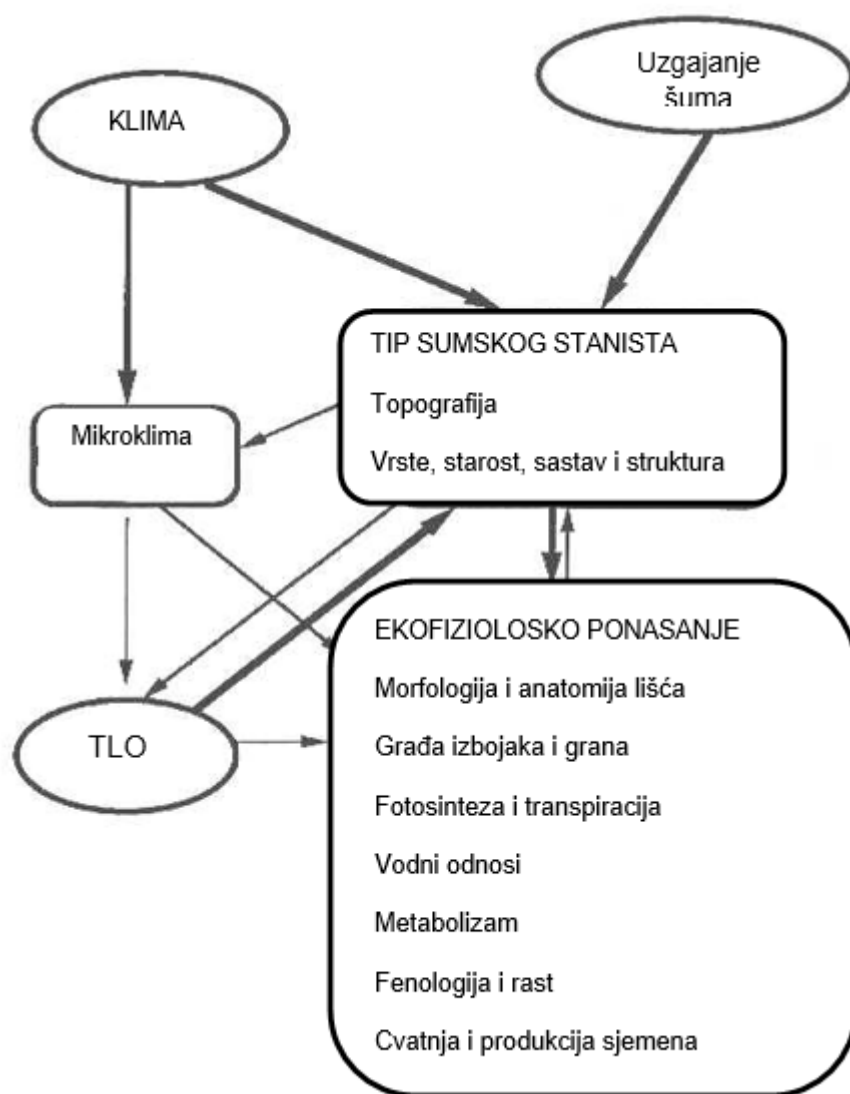
Šuma je prirodni ekosustav u kojem konstantno dolazi do raspadanja i stvaranja žive mase, a uslijed tih raspadanja dolazi do pojave šumskih otvora (progala) različitih veličina uzrokovane ili lošom metodom pomlađivanja ili nekom prirodnom pojavom (ledolom, vjetroatvori, udar groma). Te progale mogu nastati ili odumiranjem jednog stabla, grupe stabala ili cijele sastojine. Runkle (1982) definira šumski otvor kao otvor u sastojini kojeg sačinjavaju jedan ili više odumrlih, izvaljenih ili slomljenih stabala unutar kojeg je visina mladog naraštaja manja od 2 m. Nastali otvori imaju drugačije prirodne uvjete od okolne sastojine i šume koja ima sklop iznad sebe, a to utječe na pomlađivanje koje se razlikuje od pomlađivanja u sastojini.

Areal obične jele (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj prema Koppenu pripada u razred snježno-šumske (borealne) klime i umjereno tople kišne klime. Najveće površine su u Lici i Gorskom kotaru. Ta područja spadaju u klimu Cfsbx". Karakteristika toga područja je da nema sušnog razdoblja, a najsuši dio godine je u najtoplije godišnje doba. Oborine su jednoliko raspoređene na cijelu godinu, pa tako imaju dva maksimuma, jedan je u kasnu jesen, a drugi početkom ljeta. Jela ima veliki prag tolerancije na zastrčenost, odnosno pomanjkanje svjetla, te uz tisu spada u sam vrh biljaka koje mogu uspijevati s jako malo svjetla, ali s druge strane traži velike količine vode. Jela je vrlo osjetljiva što se tiče topline i pripada vrstama uske ekološke valencije. Područja u Hrvatskoj gdje pridolazi jela imaju srednju godišnju temperaturu zraka od 8-5°C, a srednji ljetni minimum iznosi od 15,5 do 18 °C .

Obična jela sudjeluje s 9.4% u drvnjoj zalihi hrvatskih šuma (Meštrović, 2001.) i to je čini najvažnijom gospodarskom vrstom četinjača u nas. Ona je također i najugroženija vrsta drveća u Hrvatskoj, a uzrok tome su tzv. „kisele kiše“ i promjene biotskih čimbenika i raznih napada od strane raznih štetnika. 72% stabala jele ima značajnu osutost krošanja (Potočić i Seletković, 2011). Obična jela u Hrvatskoj pridolazi u čistim i mješovitim sastojinama na oko 600 do 1300 metara nadmorske visine. Tvori zajednice s običnom bukvom (*Fagus sylvatica* L.), smrekom (*Picea abies* (L.) Karst.), jasenom (*Fraxinus excelsior* L.), javor mliječa (*Acer platanoides* L.) i gorskog javora (*Acer pseudoplatanus* L.).

Odumiranje stabala obične jele u hrvatskom arealu, a osobito u njezinu dinarskom dijelu, povezano je s djelovanjem abiotskih i biotskih čimbenika.

Mikroklima šumskih otvora, uz ostale stanišne čimbenike, uvjetuje uspjeh pomlađivanja na tom području. Ona utječe na intenzitet svjetla na sredini i rubovima otvora, također i na vlagu i temperaturu tla i zraka u otvoru.



Slika 1. Interakcije između klime i šumske sastojine (izvor: Aussenac 2000).

Meteorološki čimbenici igraju veliku ulogu u šumskim ekosustavima. Utječu na razne procese koji se odvijaju ovisno o meteorološkim prilikama, a tu spadaju asimilacija, respiracija, isparavanje, razlaganje organske tvari itd.

Toplina je jedan od osnovnih čimbenika vanjske sredine od kojih ovisi rast i razvitak biljaka. Bez topline život biljke ne bi bio moguć jer bi se zaustavili svi životni procesi i biljka bi uginula. Kod većine biljaka životni procesi se povećavaju s povećanjem temperature. Utjecaj temperature na intenzitet procesa izražava se Van-Hofovim pravilom, po kojem se brzina kemijske reakcije udvostruči s povećanjem temperature za svakih 10°C. Ovo pravilo kod biljaka važi samo do određene temperature granice. Daljnim povećanjem temperature procesi se usporavaju i na kraju prestaju (Otošec, 1980).

Oborine su osnovni izvor vode za stanište, a preko njega i za biljke. Osim opskrbljivanja vodom, oborine omogućuju biljci i uzimanje hranjivih mineralnih tvari, koje se u tlu nalaze većinom u nepristupačnom obliku za biljku. Voda u tlu rastvara te tvari i na taj način ih čini pristupačnim biljkama, koje ih preko svog korijenovog sustava apsorbiraju zajedno s vodom i koriste za svoju ishranu (Otorepc, 1980.)

Temperatura tla i zraka tijesno je povezana s apsorbiranom energijom ozračenja. Zato pri sunčanom vremenu nastaju znatne temperaturne razlike u tlu na pojedinim stranama brežuljkastog područja (Penzar I., Penzar B., 2000).

Uzimajući u obzir veliko značenje jelovih šuma za hrvatsko šumarstvo, kao i za raznolikost i bioraznolikost hrvatskih šuma odlučili smo ovo istraživanje provesti na području Gorskog kotara, gdje dolazi do izražaja osjetljivost, propadanje i odumiranje pojedinih stabala i čitavih sastojina unutar jelovih i bukovo-jelovih šuma.

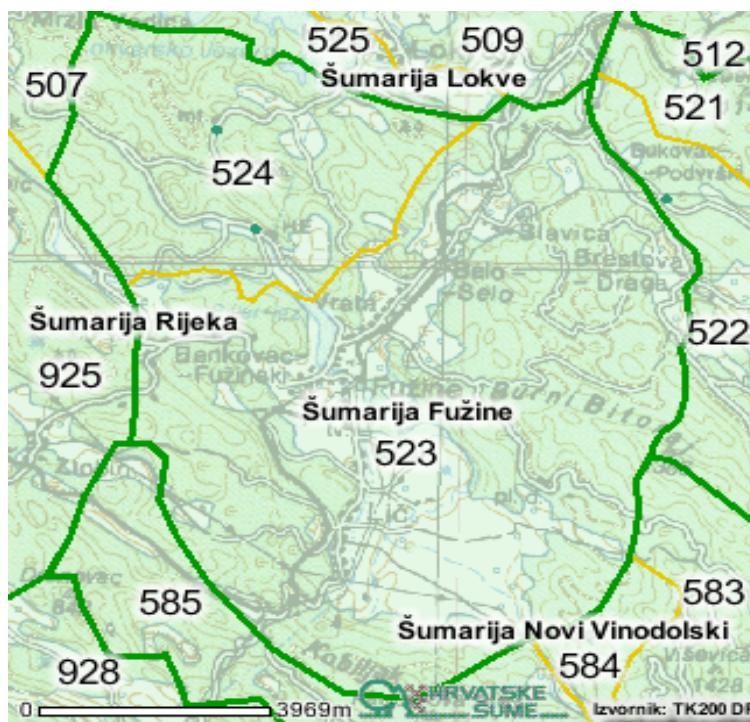
2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Ciljevi ovog diplomskog rada su:

- Opisati mikroklimu velikog i malog šumskog otvora.
- Usporediti mikroklimatske elemente velikog i malog šumskog otvora sa rubom otvora i sa šumskom sastojinom.
- Usporediti vrijednosti mikroklimatskih elemenata između velikog i malog šumskog otvora.
- Usporediti mikroklimu vitalne šumske sastojine i šumske sastojine smanjene vitalnosti.

3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

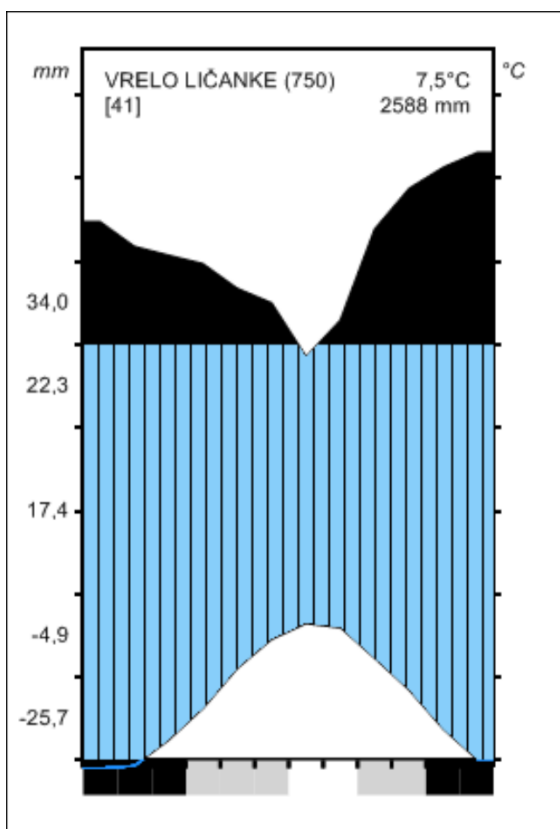
Dinarska bukovo – jelova šuma s mišjim uhom zapadnih Dinarida (*Omphalodo – Fagetum* Marinček et al. 1992) pridolazi u dinarskoj vegetacijskoj zoni europsko-altimontanskog vegetacijskog pojasa eurosibirsko-sjevernoameričke šumske regije. Pripada svezi *Aremonio-Fagion* i podsvezi *Lamio orvalae-Fagenion*. Dinarske bukovo – jelove šume prostiru se u Lici, na Velebitu i Plješevici, Velikoj i Maloj Kapeli i u Gorskom kotaru. U arealu ove zajednice prosječna godišnja temperatura je između 7 i 8 °C, dok je ukupna godišnja količina oborina iznad 2000 mm. Tlo na kojima uspijeva su vapnenci i dolomiti, odnosno lesivirana tla, kalkomelansoli i kalkokambisoli. Zajednica uspijeva između dva pojasa čistih bukovih šuma na nadmorskim visinama od 600 m do 1300 m, uglavnom na terenima svih nagiba i ekspozicija (J.Vukelić, 2012).



Slika 2. Karta šumarije Fužine

Klima područja istraživanja je analizirana na osnovu klimadijagrama za meteorološku postaju Vrelo Ličanke (slika 3) koja se nalazi u neposrednoj blizini pokusnih ploha. Prema Koppenu, ovo je područje umjereno tople kišne klime, s klimatskom formulom Cfsbx". Najmanja količina oborina padne u najtoplije godišnje doba. Prema vrijednostima Langovog kišnog faktora, klima ovog područja je perhumidna. Srednja godišnja temperatura zraka je iznosila

7,3 °C. Najhladniji mjesec je siječanj, a najtopliji srpanj. Apsolutni minimum je iznosio -25,7 °C, a apsolutni maksimum temperature zraka je iznosio 34,0 °C. Prosječna godišnja količina oborina oko 2500 mm. Veći dio oborina padne tijekom hladnijeg dijela godine. Maksimalne mjesečne količine oborina padnu u kasnu jesen ili početkom zime, a srpanj je mjesec s najmanjom količinom oborina.



Slika 3. Klimadijagram za meteorološku postaju Vrelo Ličanke

Istraživanja mikroklimе šumskih otvora, vitalne sastojine i sastojine smanjene vitalnosti su obavljena na području gospodarske jedinice “Kobiljak - Bitoraj“ s kojom gospodari Šumarija Fužine. U odjelu 31 u dinarskoj bukovo-jelovoj šumi, istraživanja su obavljena u dva šumska otvora. Šumski otvori su nastali sanitarnom sječom i to uglavnom stabala obične jele (*Abies alba* Mill.). Prema podacima iz šumske kronike, otvori su bili stari trinaest godina. Rub šumskog otvora je određen vertikalnom projekcijom krošanja rubnih stabala oko otvora (Runkle, 1982; Rozenberger et al., 2007). Unutar svakog otvora izmjerili smo dužu i kraću stranu otvora, odnosno postavili smo poligoni vlak oko samog šumskog otvora. Površinu šumskih otvora izračunali smo prema formuli za elipsu (Runkle, 1982).

Pripadajuća kontrolna ploha tj. sklopljena sastojina je dimenzija 50 x 50 m, površine 250 m². Ploha je smještena u odjelu 32 gospodarske jedinice “Kobiljak - Bitoraj“ i nalazi se u vitalnoj sastojni u kojoj nema intenzivnog odumiranja stabala. Podatke o intenzitetu odumiranja stabala i sanitarnoj sječi smo preuzeli iz obrazaca O-3 Programa gospodarenja gospodarskom jedinicom. Na osnovu toga, odredili smo jednu šumsku sastojinu smanjene vitalnosti smještenu u odjelu 31 i na njoj postavili pokusnu plohu dimenzija 50 x 50 m, površine 250 m². Sve pokusne plohe su se nalazile u istim reljefnim i pedološkim uvjetima te su pripadale istoj šumskoj zajednici (*Omphalodo – Fagetum* Marinček '93).

U uređajnom zapisniku Osnove gospodarenja GJ „Kobiljak -Bitoraj“ piše sljedeće:

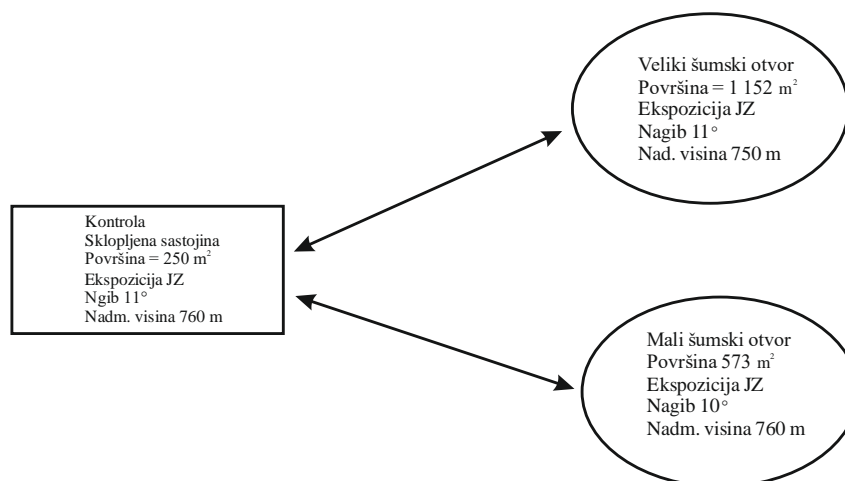
1. Vrste tala:

- distrično smeđe tlo,
- smeđe tlo na vapnencu i dolomitu,
- crnica na vapnencu i dolomitu,
- lesivirano tlo na vapnencu i dolomitu.

2. Biljne zajednice:

- šuma bukve i jele,
- predplaninske bukove šume,
- šuma i šikara crnog graba sa jesenskom šašikom (Anon. 2012).

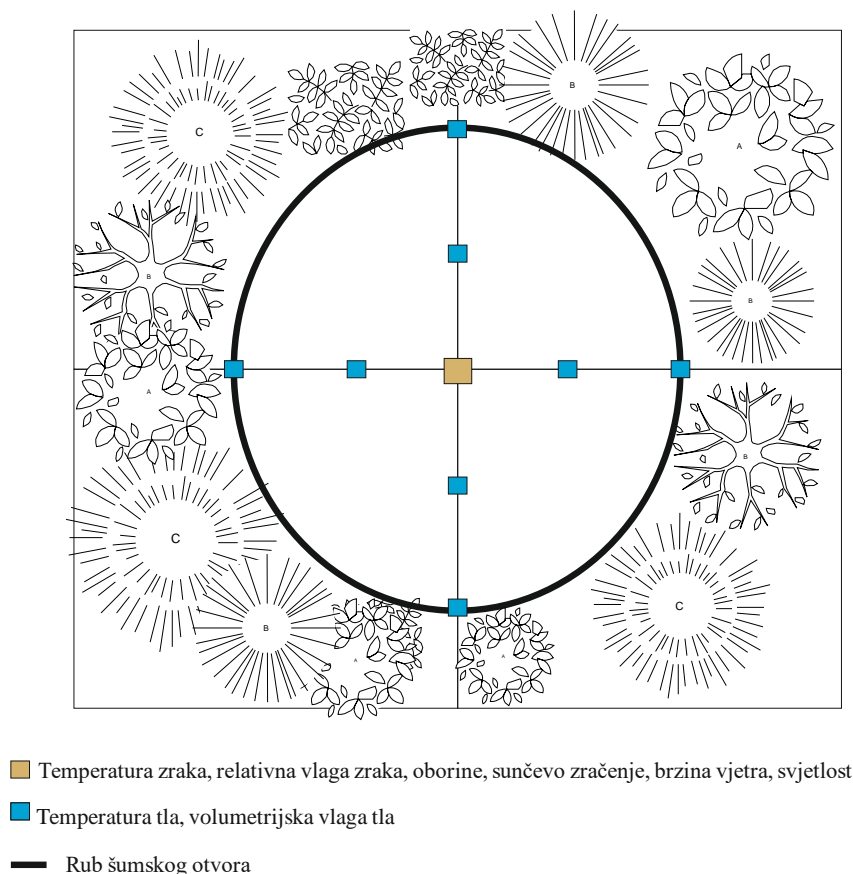
Shema plana pokusa i osnovni podaci o površinama i reljefnim čimbenicima su prikazani na slici 4.



Slika 4. Shema pokusa i osnovni podaci o pokusnim ploham

Mjerenje mikroklimе smo obavili s meteorološkom stanicom Spectrum ET 2900. Meteorološke stanice su bile postavljene u centru samih otvora i pod sklopom krošanja stabala na kontrolnoj plohi (slika 7,8). Mjerena je temperatura zraka ($^{\circ}\text{C}$), relativna vlaga zraka (%), količina oborina (mm), sunčevo zračenje (wat/m^2) i brzina vjetra (km/h). Mjerenja su obavljena u vremenskom razdoblju od srpnja 2016. godine do lipnja 2017. godine u vremenskom intervalu od 60 minuta. Mjerenje volumetrijske vlage tla smo obavili s vlagomjerom TDR-300, proizvođača Spectrum. Mjerenje temperature tla smo obavili s geotermometrom. Mjerenja su obavljena na dubini tla od 10 cm jednom mjesečno od srpnja 2016. do srpnja 2017. godine prema shemi pokusa prikazanoj na slici 5. Prema istoj shemi pokusa mjereno je i intenzitet osvijetljenosti (lux) s svjetlomjerom Luxmeter Iskra (slika 9). Paralelno s mjerenjem osvijetljenosti u šumskim otvorima i šumskim sastojinama, osvijetljenost je mjerena i na “otvorenom” području izvan šumskog ekosustava.

Relativno užitno svjetlo je izračunato kao postotak (%) iz odnosa osvijetljenosti (lux) u otvoru/šumskoj sastojini i osvijetljenosti na “otvorenom” prostoru.



Slika 5. Skica plana mjerenja mikroklimе u šumskom otvoru



Slika 6. Očitavanje podataka s meteorološke stanice Spectrum



Slika 7. Meteorološka stanica Spectrum u malom šumskom otvoru



Slika 8. Meteorološka stanica Spectrum u velikom šumskom otvoru



Slika 9. Svjetlomjer ili luxmetar

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

1. Mikroklima velikog šumskog otvora

Tablica 1. Deskriptivna statistika mikroklimatskih elemenata za veliki šumski otvor

Mikroklimatski elementi	Min - Max
Temp. zraka (°C)	-16,10 – 34,60
Vlaga zraka (%)	8,00 – 100,00
Oborine (mm)	0,20 – 31,70
Sunčevo zračenje (wat/m ²)	1,00 – 1127,00
Brzina vjetra (km/h)	0,00 – 8,00

U tablici 1 je prikazana deskriptivna statistika mikroklimatskih elemenata za veliki šumski otvor. Vrijednosti temperature zraka su bile u rasponu od -16,10 do 34,60 °C. Maksimalna izmjerena količina oborina je iznosila 31,70 mm. Sunčevo zračenje je bilo u rasponu od 1,00 do maksimalnih 1127,00 wat/m². Najveća izmjerena brzina vjetra je iznosila 8,00 km/h.

Tablica 2. Deskriptivna statistika mikroklimatskih elemenata za kontrolnu plohu

Mikroklimatski elementi	Min - Max
Temp. zraka (°C)	-16,20 – 32,30
Vlaga zraka (%)	9,60 – 100,00
Oborine (mm)	0,20 – 38,10
Sunčevo zračenje (wat/m ²)	1,00 – 411,00
Brzina vjetra (km/h)	0,00 – 12,00

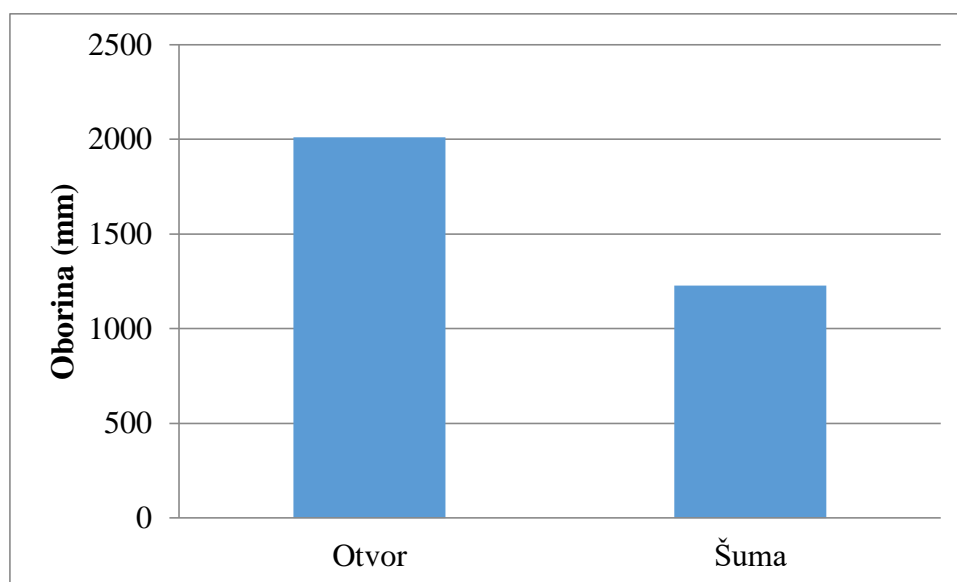
U tablici 2 je prikazana deskriptivna statistika za kontrolnu plohu odnosno sklopljenu sastojinu. Amplituda temperature zraka je bila manja u usporedbi s velikim šumskim otvorom i bila je u rasponu od -16,20 do 32,30 °C. Oborine su bile u rasponu od 0,20 do 38,10 mm. Maksimalno izmjereno sunčevo zračenje je iznosilo 411,00 wat/m², a najveća brzina vjetra je iznosila 12 km/h.

Tablica 3. Usporedba mikroklimatskih elemenata velikog šumskog otvora i kontrole

Mikroklimatski elementi	Pokusne plohe	
	Veliki otvor	Kontrola
	Prosjeak ± Std. Dev.	
Temp. zraka (°C)	8,01 ± 8,76	7,79 ± 8,29
Vlaga zraka (%)	73,63 ± 21,71	74,01 ± 21,11
Oborine (mm)	2,06 ± 3,05 ^a	1,33 ± 2,29 ^b
Sunčevo zračenje (wat/m ²)	157,72 ± 230,83 ^a	34,12 ± 42,14 ^b
Brzina vjetra (km/h)	0,43 ± 0,99 ^a	0,54 ± 1,56 ^b

Brojevi unutar reda označeni različitim slovom značajno se razlikuju, $p < 0,05$

Prema rezultatima Studentovog t-testa u tablici 3, utvrđena je statistički značajna razlika za prosječnu količinu oborina, sunčevo zračenje i brzinu vjetra između velikog šumskog otvora i kontrole plohe odnosno sklopljene sastojine. Prosječna količina oborina i sunčevog zračenja je bila značajno veća na prostoru velikog šumskog otvora, a brzina vjetra je bila veća u sklopljenoj sastojini. Za prosječne vrijednosti temperature zraka i relativne vlage zraka nisu utvrđene statistički značajne razlike.



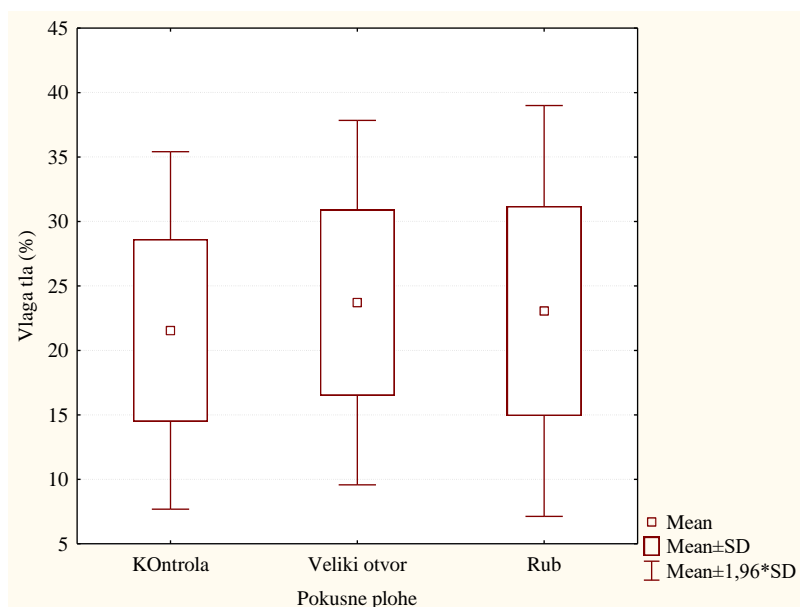
Slika 10. Odnos količine oborine (mm) u otvoru i šumskoj sastojini

Intercepcija u šumskoj sastojini iznosi 39 % u odnosu na količinu oborina u velikom šumskom otvoru (slika 10).

Tablica 4. Deskriptivna statistika vlage tla i temperature tla za veliki šumski otvor

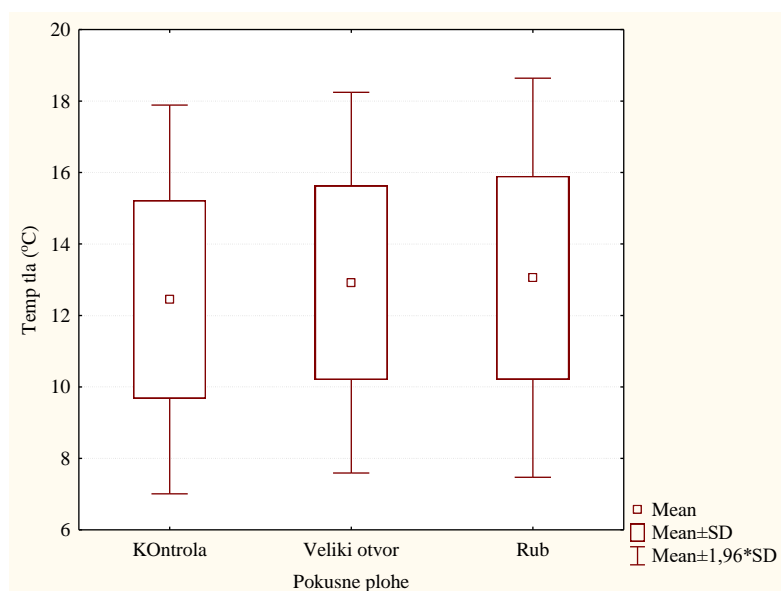
Mikroklimatski elementi	Pozicije		
	Kontrola	Otvor	Rub
	Min - Max		
Vlaga tla (%)	3,10 – 40,90	7,10 – 40,90	6,10 – 41,90
Temperatura tla (°C)	6,00 – 17,80	6,90 – 18,20	6,90 – 18,20

U tablici 4 je prikazana deskriptivna statistika vlage tla i temperature tla za veliki šumski otvor, rub velikog šumskog otvora i kontrolnu pokusnu plohu. Najmanja vrijednost vlage tla je izmjerena u kontrolnoj plohi (3,10 %), a najveća na rubu šumskog otvora (41,90 %). Najmanja temperatura tla je bila u kontrolnoj plohi (6,00 °C), a najveća u šumskom otvoru i na rubu otvora (18,20 °C).



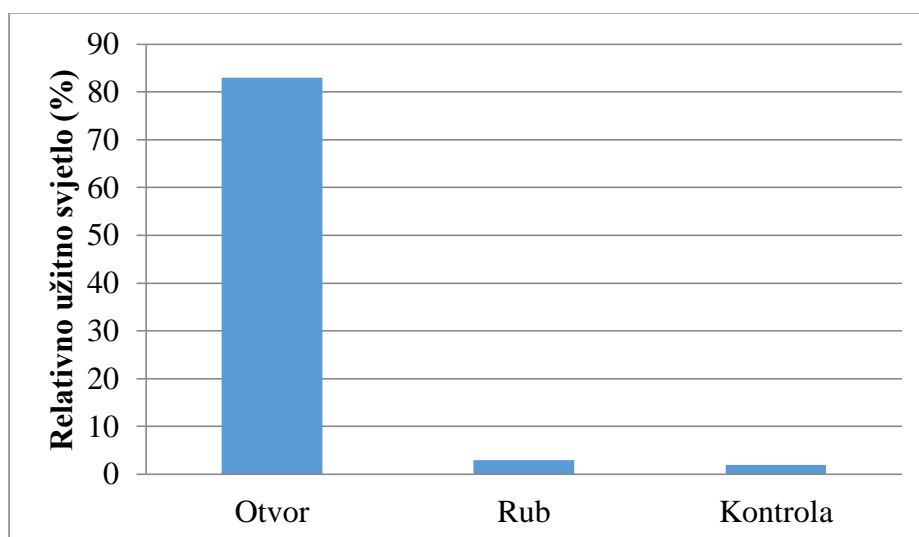
Slika 11. Vlaga tla (%) na različitim pozicijama velikog šumskog otvora i kontrole

Na slici 11 je prikazana prosječna vrijednost vlage tla u kontrolnoj plohi, velikom šumskom otvoru i na rubu otvora. Prema rezultatima ANOVA, vlaga tla je bila statistički značajno veća u velikom šumskom otvoru u usporedbi s kontrolnom plohom ($p=0,016$). Nisu utvrđene značajne razlike u vrijednostima vlage tla između šumskog otvora i ruba otvora, te između kontrolne plohe i ruba otvora.



Slika 12. Temperatura tla (°C) na različitim pozicijama velikog šumskog otvora i kontrole

Prema rezultatima ANOVA nisu utvrđene statistički značajne razlike u prosječnim vrijednostima temperature tla na različitim pozicijama velikog šumskog otvora (slika 12).



Slika 13. Relativno užitno svjetlo (%) na različitim pozicijama velikog šumskog otvora i kontrole

Relativno užitno svjetlo (%) je bilo najveće na prostoru velikog šumskog otvora, zatim ruba otvora, a najmanje je bilo u sklopljenoj sastojini odnosno kontrolnoj plohi (slika 13).

2. Mikroklima malog šumskog otvora

Tablica 5. Deskriptivna statistika mikroklimatskih elemenata za mali šumski otvor

Mikroklimatski elementi	Min - Max
Temp. zraka (°C)	-16,10 – 32,90
Vlaga zraka (%)	6,60 – 100,00
Oborine (mm)	0,20 – 39,80
Sunčevo zračenje (wat/m ²)	1,00 – 1175,00
Brzina vjetra (km/h)	0,00 – 12,00

U tablici 5 je prikazana deskriptivna statistika mikroklimatskih elemenata u malom šumskom otvoru. Temperatura zraka je bila u rasponu od -16,10 do maksimalnih 32,90 °C. Najveća količina oborina je iznosila 39,80 mm, sunčevog zračenja 1175,00 wat/m², a brzina vjetra 12,00 km/h.

Tablica 6. Usporedba mikroklimatskih elemenata malog šumskog otvora i kontrole

Mikroklimatski elementi	Pokusne plohe	
	Mali otvor	Kontrola
	Prosjeak ± Std. Dev.	
Temp. zraka (°C)	8,41 ± 8,31 ^a	7,79 ± 8,29 ^b
Vlaga zraka (%)	74,59 ± 21,56	74,01 ± 21,11
Oborine (mm)	2,74 ± 4,71 ^a	1,33 ± 2,29 ^b
Sunčevo zračenje (wat/m ²)	139,98 ± 209,58 ^a	34,12 ± 42,14 ^b
Brzina vjetra (km/h)	0,80 ± 1,67 ^a	0,54 ± 1,56 ^b

Brojevi unutar reda označeni različitim slovom značajno se razlikuju, $p < 0,05$

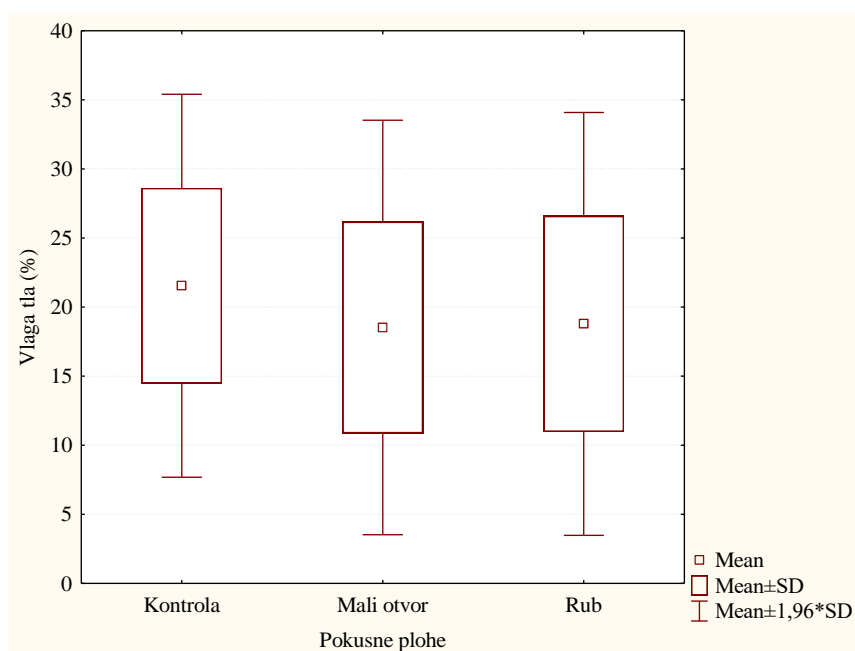
Prema rezultatima Studentovog t-testa, prosječne vrijednosti temperature zraka (°C), oborina (mm), sunčevog zračenja (wat/m²) i brzine vjetra (km/h) su bile značajno veće na prostoru

malog šumskog otvora u usporedbi s kontrolnom plohom (tablica 6). Za prosječnu vrijednost relativne vlage zraka nije utvrđena statistički značajna razlika.

Tablica 7. Deskriptivna statistika vlage tla i temperature tla za mali šumski otvor

Mikroklimatski elementi	Pozicije		
	Kontrola	Otvor	Rub
	Min - Max		
Vlaga tla (%)	3,10 – 40,90	6,10 – 38,50	5,60 – 36,50
Temperatura tla (°C)	6,00 – 17,80	8,20 – 19,80	8,70 – 18,00

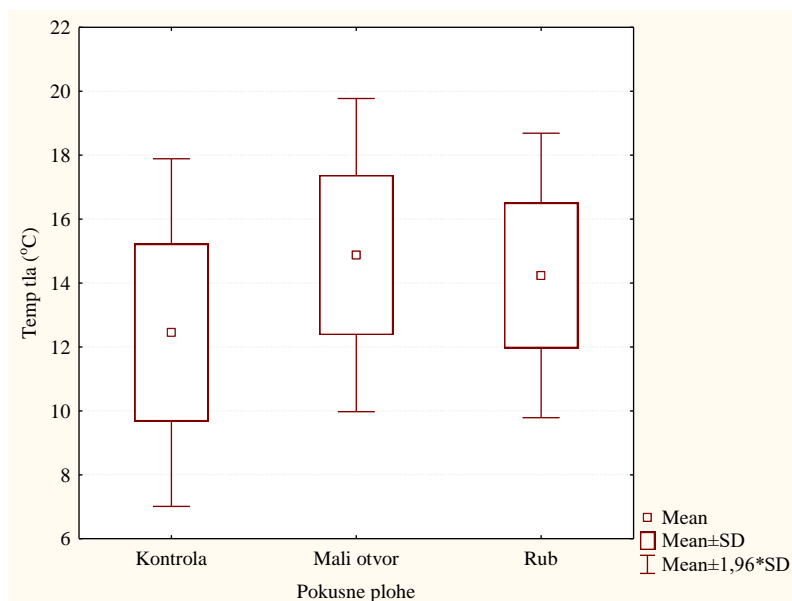
U tablici 7 je prikazan deskriptivna statistika vlage tla i temperature tla za prostor malog šumskog otvora, ruba otvora i kontrolne plohe. Najmanja i najveća vrijednosti vlage tla su bile na kontrolnoj plohi (3,10 % odnosno 40,90 %). Najmanja vrijednost temperature tla je bila u kontrolnoj plohi (6,00 °C), a najveća u malom šumskom otvoru (19,80 °C).



Slika 14. Vlaga tla (%) na različitim pozicijama malog šumskog otvora i kontrole

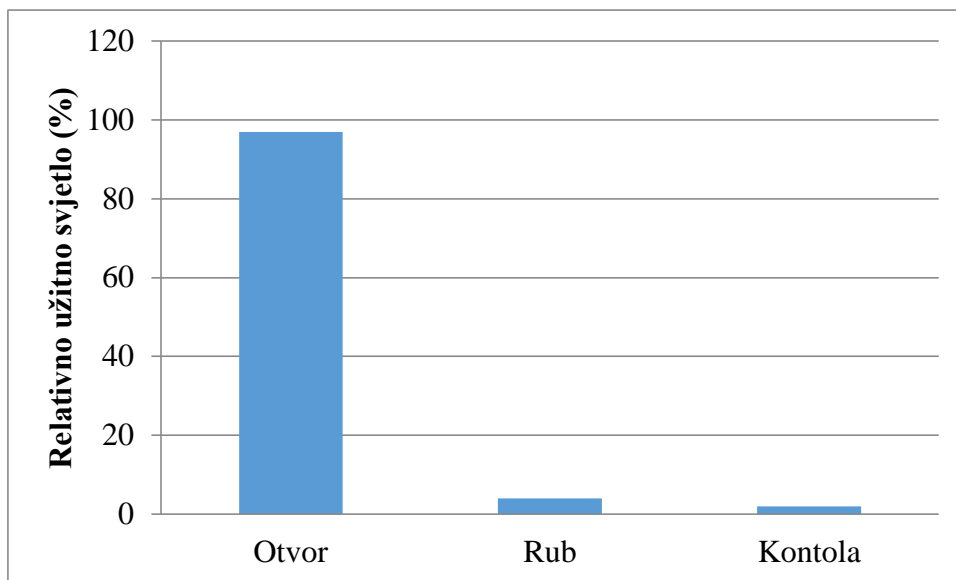
Prema rezultatima ANOVA (slika 14) statistički značajno najveća prosječna vrijednost vlage tla je bila na kontrolnoj plohi u usporedbi s vlagom tla u malom otvoru ($p=0,000$) i na rubu

otvora ($p=0,005$). Između malog otvora i ruba otvora nije utvrđena značajna razlika u prosječnoj vrijednosti vlage tla ($p=0,800$).



Slika 15. Temperature tla (°C) na različitim pozicijama malog šumskog otvora i kontrole

Na slici 15 su prikazane prosječne vrijednosti i standardna devijacija temperatura tla na različitim pozicijama malog šumskog otvora. Prema rezultatima ANOVA utvrđene su statistički značajne razlike u prosječnim vrijednostima temperature tla između kontrolne plohe i malog otvora ($p=0,000$), kontrolne plohe i ruba otvora ($p=0,000$). Nije utvrđena značajna razlike u prosječnoj temperaturi tla između malog otvora i ruba otvora ($p=0,080$).



Slika 16. Relativno užitno svjetlo (%) na različitim pozicijama malog šumskog otvora i kontrole

Vrijednosti relativnog užitnog svjetla (%) su se smanjivale od prostora malog šumskog otvora, ruba otvora do kontrolne plohe (slika 16).

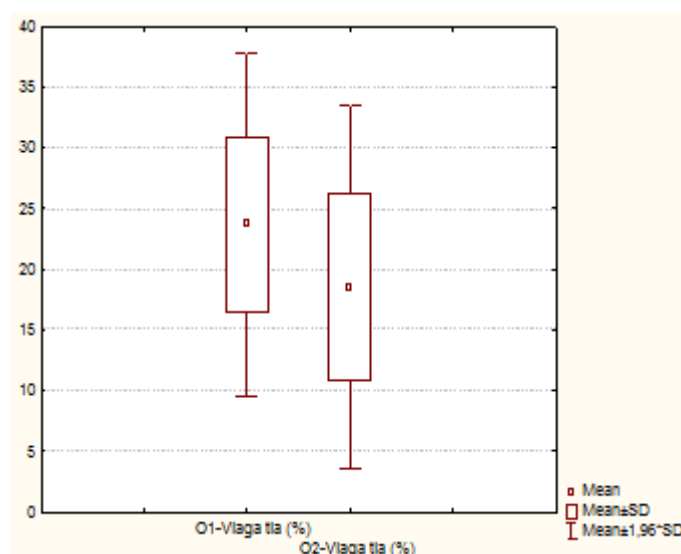
3. Usporedba mikrokline velikog i malog šumskog otvora

Tablica 8. Usporedba mikroklimatskih elemenata velikog i malog šumskog otvora

Mikroklimatski elementi	Pokusne plohe	
	Veliki otvor	Mali otvor
	Prosjeak \pm Std. Dev.	
Temp. zraka ($^{\circ}\text{C}$)	$8,01 \pm 8,76^a$	$8,41 \pm 8,31^b$
Vlaga zraka (%)	$73,63 \pm 21,71^a$	$74,59 \pm 21,56^b$
Oborine (mm)	$2,06 \pm 3,05^a$	$2,74 \pm 4,71^b$
Sunčevo zračenje (wat/m^2)	$157,72 \pm 230,83^a$	$139,98 \pm 209,58^b$
Brzina vjetra (km/h)	$0,43 \pm 0,99^a$	$0,80 \pm 1,67^b$

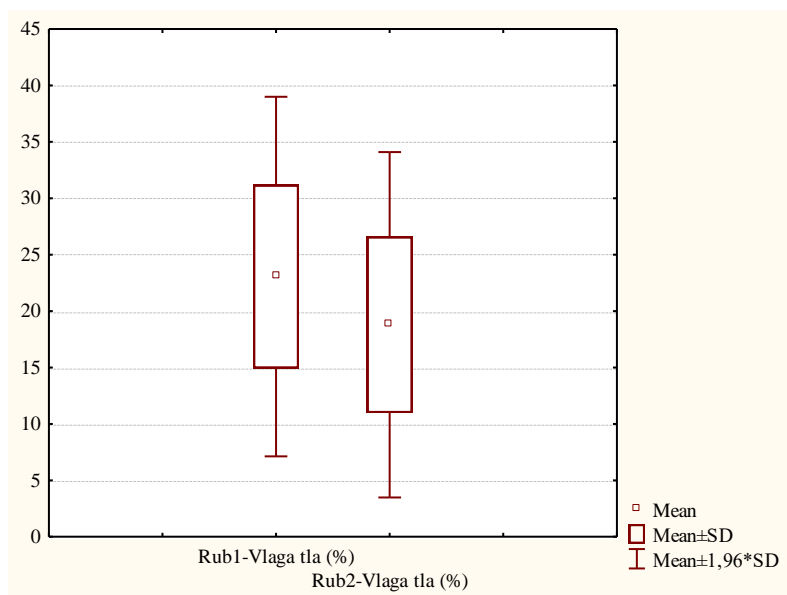
Brojevi unutar reda označeni različitim slovom značajno se razlikuju, $p < 0,05$

U tablici 8 su prikazani rezultati Studentovog t-testa za prosječne vrijednosti mikroklimatskih elemenata između velikog i malog šumskog otvora. Utvrđene su statistički značajne razlike za sve mjerene mikroklimatske elemente. Samo je prosječna količina sunčevog zračenja $157,72 \text{ wat/m}^2$ bila značajno veća na prostoru velikog šumskog otvora. Prosječna temperatura zraka, relativna vlaga zraka, količina oborina i brzina vjetra su bili značajno veći na prostiru malog šumskog otvora u usporedbi s velikim šumskim otvorom.



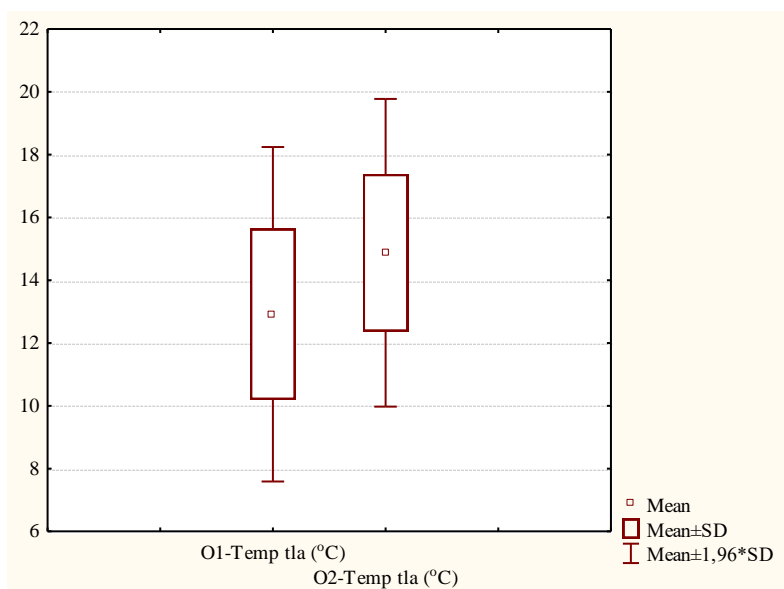
Slika 17. Vlaga tla (%) u velikom(O1) i malom(O2) šumskom otvoru

Utvrđena je statistički značajno veća prosječna vlaga tla u velikom otvoru (23,71 %) u odnosu na mali šumski otvor (18,52 %), $p=0,000$ (slika 17).



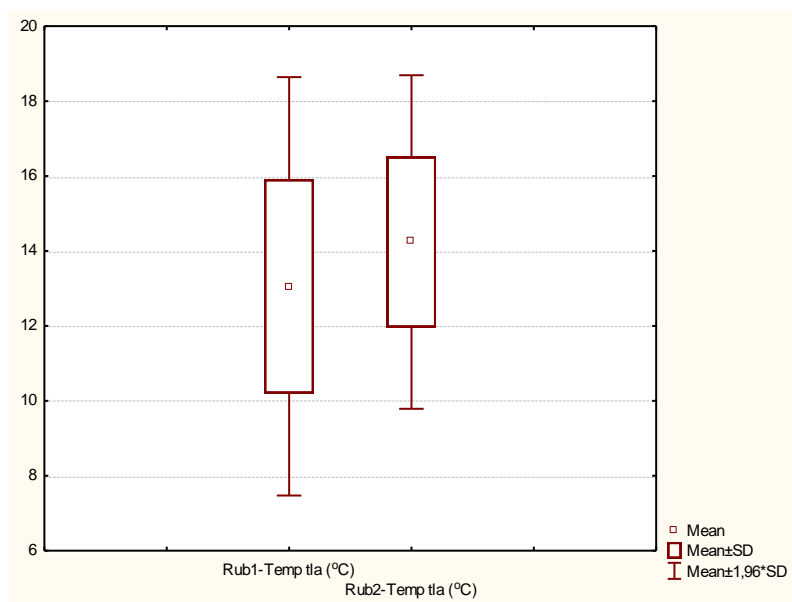
Slika 18. Vlaga tla (%) na rubu velikog (rub 1) i malog (rub 2) šumskog otvora

Prosječna vlaga tla na rubu velikog šumskog otvora (23,05 %) je bila značajno veća u odnosu na rub malog šumskog otvora gdje je iznosila 18,78 % (slika 18).



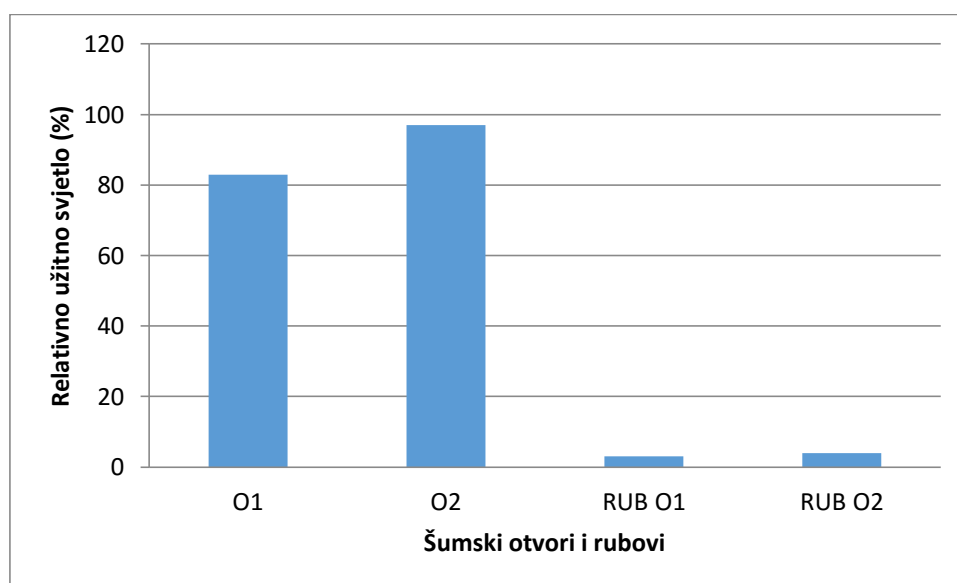
Slika 19. Temperatura tla (°C) u velikom (O1) i malom (O2) šumskom otvoru

Prosječna temperatura tla je bila značajno veća na prostoru malog šumskog otvora (14,87 °C) u odnosu na veliki šumski otvor gdje je iznosila 12,91 °C (slika 19).



Slika 20. Temperatura tla (°C) na rubu velikog (rub1) i malog (rub 2) šumskog otvora

Utvrđena je značajno veća prosječna temperatura tla na rubu malog šumskog otvora (14,23 °C) u odnosu na rub velikog šumskog otvora (13,05), $p=0,002$ (slika 20).



Slika 21. Relativno užitno svjetlo u otvorima i rubovima

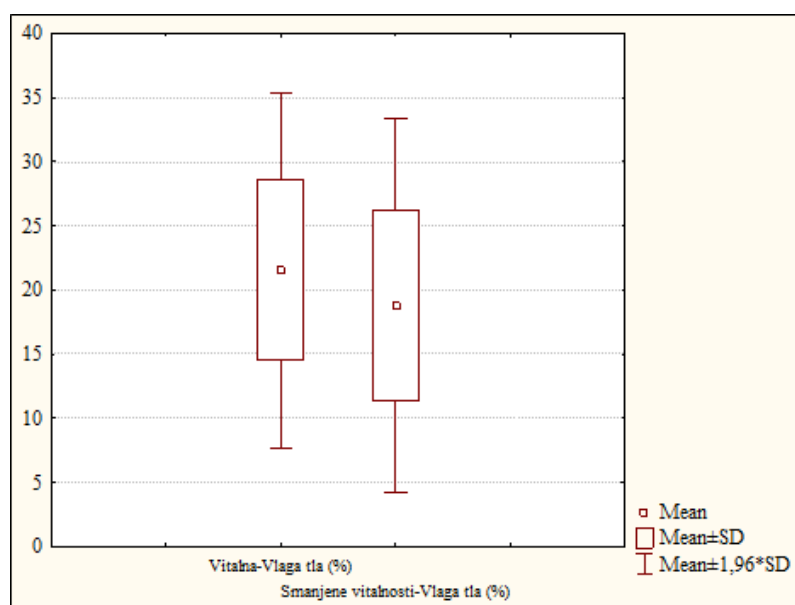
Na slici 21 su prikazani postotci relativnog užitnog svjetla u istraživanim šumskom otvorima i njihovim rubovima. Najveći postotak relativnog užitnog svjetla je bio u malom šumskom otvoru (97 %), a najmanji na rubu velikog šumskog otvora (3 %).

Mikroklima vitalne šumske sastojine i šumske sastojine smanjene vitalnosti

Tablica 9. Deskriptivna statistika mikroklimatskih elemenata za sastojine različite vitalnosti

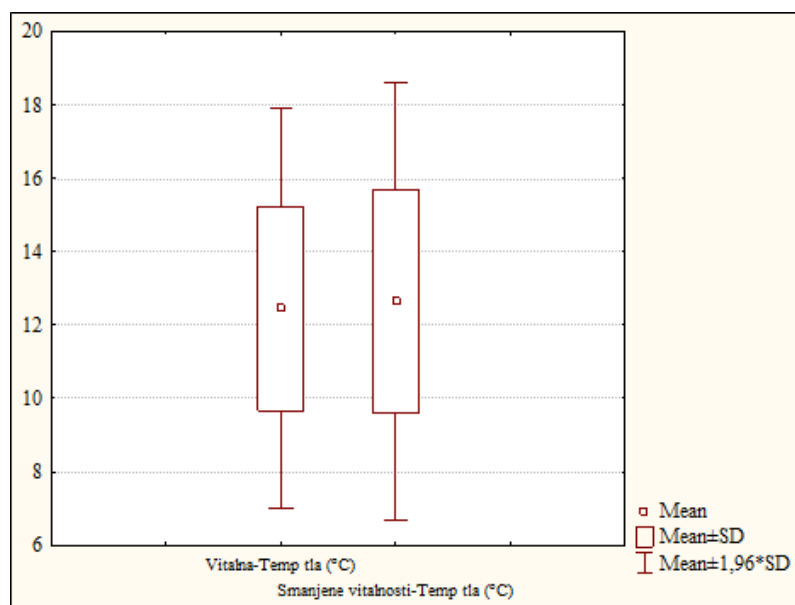
Mikroklimatski elementi	Vitalna	Smanjene vitalnosti
	Min - Max	
Vlaga tla (%)	3,10 – 40,90	4,10 – 36,50
Temp. tla (°C)	6,00 – 17,80	6,60 – 17,90

U tablici 9 je prikazana deskriptivna statistika mikroklimatskih elemenata za vitalnu šumsku sastojinu i šumsku sastojinu smanjene vitalnosti. Apsolutno kolebanje vlage tla je bilo najveće u vitalnoj sastojini, od 3,10 do 40,90 %. Temperatura tla ja imala najveću minimalnu temperaturu tla (6,60 °C) i najveću maksimalnu temperaturu tla (17,90 °C).



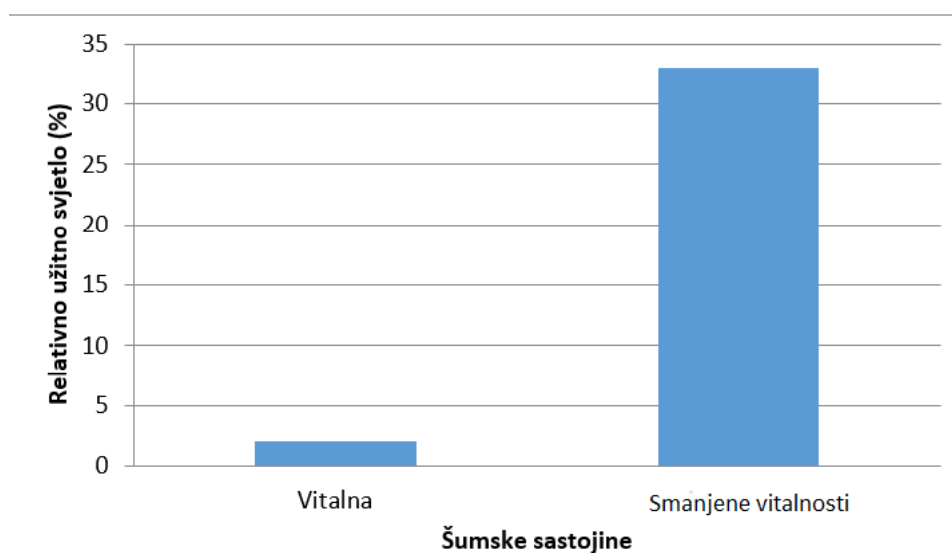
Slika 22. Usporedba vlage tla (%) u sastojinama različite vitalnosti

Prema rezultatima prikazanim na slici 22, utvrđena je značajno veća prosječna vlaga tla u vitalnoj sastojini (21,55 %) u odnosu na sastojinu smanjene vitalnosti (18,78 %), $p = 0,001$.



Slika 23. Usporedba temperature tla (°C) u sastojinama različite vitalnosti

Nije utvrđena značajna razlika u temperaturi tla ($p = 0,563$) između vitalne i sastojine smanjene vitalnosti (slika 23). Prosječna temperatura tla u vitalnoj sastojini je iznosila 12,44 °C, a u onoj smanjene vitalnosti 12,64 °C.



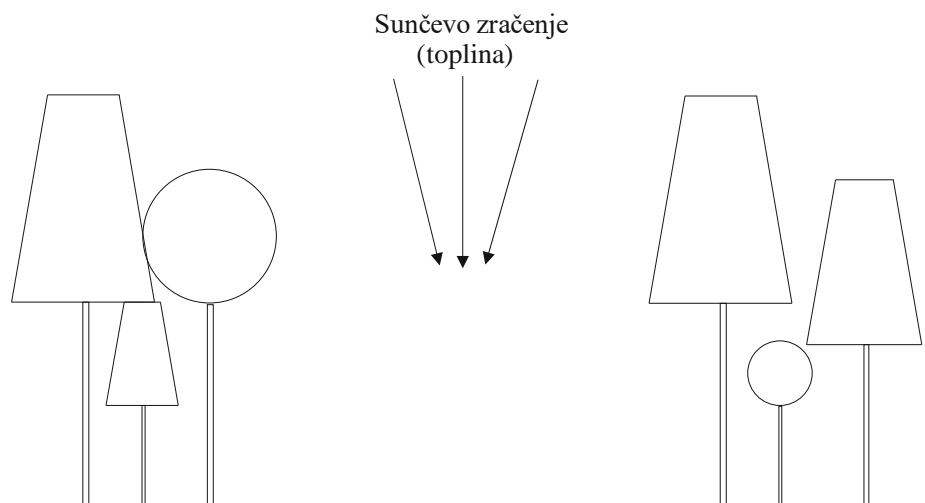
Slika 24. Relativno užito svjetlo (%) u sastojinama različite vitalnosti

Relativno užito svjetlo u vitalnoj sastojini je iznosilo 2 %, a u onoj smanjene vitalnosti 33 % (slika 24).

5. RASPRAVA

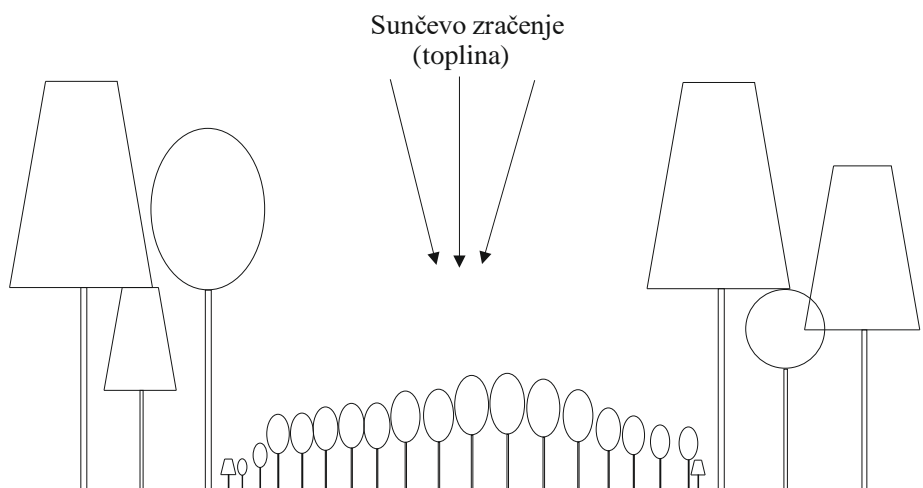
Mikroklima i vrijednosti mikroklimatskih elemenata su ovisni o lokalnoj klimi, odnosno o mezoklimi i makroklimi. Isto tako mikroklima je ovisna i o stanju šumskih ekosustava, o uzgojnom obliku, stanju degradacije šumskog ekosustava, vrsti šumskog drveća, vitalnosti stabala (osutosti i oštećenosti krošanja), strukturnim čimbenicima (broj stabala, temeljnica, volumen) i stanju pomlađenja. Sječom šumskog drveća u sastojini mjenjamo i mikroklimatske prilike (Aussenac 2000). Veliki otvori su izloženi velikoj kratkovalnoj radijaciji, ekstremnim temperaturama, visokim temperaturama tla, niskom zračnom vlagom i većoj brzini vjetra u usporedbi sa šumskom sastojinom (Lee, 1978; Stoutjesdijk i Barkman, 1992). Provedenim istraživanjem na području Gorskog kotara ne možemo u potpunosti potvrditi ove tvrdnje.

Prema rezultatima istraživanja, u velikom šumskom otvoru je veća prosječna vrijednost temperature zraka u odnosu na kontrolnu plohu, ali ove razlike nisu statistički značajne. U velikom šumskom otvoru je izmjerena značajno manja prosječna brzina vjetra u odnosu na kontrolnu plohu. Ove razlike objašnjavamo stanjem prirodnog pomlađenja u velikom šumskom otvoru. Veliki šumski otvor je dobro pomlađen s biljakama iz prirodnog pomlađenja i to uglavnom listopadnim vrstama kao što su obična bukva i gorski javor (Ugarković 2017). Broj mladih biljaka i njihova visina ublažavaju utjecaj sunčevog zračenja (topline) pa s time i temperaturne razlike između velikog otvora i kontrolne plohe. Temperatura tla je ovisna o temperaturi zraka. Zbog nesignifikatne razlike u temperaturi zraka i dobrog prirodnog pomlađenja velikog šumskog otvora nisu utvrđene ni značajne razlike u temperaturi tla između velikog šumskog otvora, ruba otvora i kontrolne plohe.



Slika 25. Skica nepomlađenog šumskog otvora

Sunčevo zračenje pa s njime i toplina u šumskim otvorima koji nisu pomlađeni, direktno dolaze na tlo i zagrijavaju ga (slika 25).



Slika 26. Skica pomlađenog šumskog otvora

Ukoliko je šumski otvor dobro ili uspješno pomlađen s mladim biljkama, njihove krošnje ublažuju utjecaj sunčevog zračenja (topline) i sprječavaju zagrijavanje tla (slika 26).

Promjene temperature zraka u vanjskoj atmosferi oko šume utječu i na šumsku mikroklimu. One se najjače odražavaju neposredno na površini samih krošanja, gdje i najmanje povećanje temperatura vanjske atmosfere dolazi najjače do izražaja (Ugarković i dr. 2012)

Vrijednosti pojedinih mikroklimatskih elemenata ne ovise samo o dimenzijama šumskih otvora (progala, plješina) odnosno o njihovoj površini, već i o broju biljaka prirodnog pomlađenja, visini biljaka prirodnog pomlađenja, odnosno o stanju šumske vegetacije.

U velikom šumskom otvoru je izmjereno značajno veća količina oborina i sunčevog zračenja u odnosu na kontrolnu plohu, što je i razumljivo s obzirom na površinu velikog šumskog otvora i razbijenog sklopa krošanja velikih stabala šumskog drveća (obične jele i obične bukve). Zbog veće količine oborina u velikom šumskom otvoru, u njemu je bila i značajno veća prosječna vlaga tla u odnosu na kontrolnu plohu. Zbog zadržavanja oborine u krošnjama stabala (intercepcije) koja je iznosila oko 39 %, u sklopljenoj sastojini je bila manja vlaga tla.

Prema istraživanjima Latif i dr. (2010), relativna zračna vlaga je bila manja u otvoru u odnosu na susjednu šumu i nije varirala s obzirom na veličinu otvora. U predmetnim otvorima na području Gorskog kotara nismo utvrdili značajne razlike između relativne zračne vlage otvora u odnosu na šumsku sastojinu. Utvrđena je jedino značajno manja relativna zračna vlaga u velikom šumskom otvoru u odnosu na mali šumski otvor.

Prema rezultatima Oršanića i dr. (2011) vlaga tla je statistički značajno uvjetovana temperaturom zraka, točkom rosišta i količinom oborina.

U šumskim otvorima u sastojinama obične jele na području centralnog dijela Apenina, Albanesi i dr. (2008) su utvrdili veću vlagu tla unutar otvora u usporedbi sa šumskom sastojinom. Rezultatima naših istraživanja u velikom šumskom otvoru smo utvrdili veću vlagu tla u odnosu na šumsku sastojinu. Međutim, u malom šumskom otvoru smo utvrdili manju vlagu tla u odnosu na šumsku sastojinu, što objašnjavamo malom visinom i malim brojem biljaka prirodnog pomlađenja koji dozvoljavaju dolazak mnogo veće količine sunčeve energije na površinu tla i veliki postotak apsorbiranja energije od strane šumskog tla. Iz tog razloga je i temperatura tla u malom šumskom otvoru bila značajno veća u odnosu na šumsku sastojinu.

Zbog razbijenog sklopa krošanja nadstojnih stabala obične jele i obične bukve, u velikom i malom šumskom otvoru su izmjerene veće vrijednosti relativnog užitnog svjetla u odnosu na rubove otvora i kontrolnu plohu.

U malom šumskom otvoru je bilo toplije (veća prosječna temperatura zraka) u odnosu na kontrolnu plohu. Također izmjereno je veće sunčevo zračenje i veća prosječna brzina vjetera.

Sklop krošanja nadstojnih stabala na prostoru malog šumskog otvora je razbijen pa je i veća osvjetljenost tog prostora. Sam otvor je slabo pomlađen pa sunčeve zrake dijelom direktno padaju na prostor malog šumskog otvora i nema krošanja mladih biljaka da ublaže djelovanje vjetera. Zbog dijelom direktnog padanja sunčevih zraka na šumsko tlo, ono se više zagrijava i

zato je temperatura tla veća, a vlaga tla manja u malom šumskom otvoru u odnosu na kontrolnu plohu pod sklopom krošanja nadstojnih stabala i veliki šumski otvor.

Vjetar je vrlo varijabilan i promjenama podložen klimatski element. Najveća prosječna brzina vjetra je izmjerena u malom šumskom otvoru. Nismo utvrdili zakonitost da je u velikom šumskom otvoru veća brzina vjetra u odnosu na mali šumski otvor. Razlog je u dobroj pomlađenosti velikog šumskog otvora i visinama biljaka iz prirodnog pomlađenja (Ugarković 2017). Isto tako nismo potvrdili rezultate istraživanja Lee (1978) te Stoutjesdijk i Barkman (1992) o većoj brzini vjetra u šumskim otvorima u odnosu na šumsku sastojinu. Prosječno je najveća brzina vjetra izmjerena u malom šumskom otvoru, a maksimalne brzine vjetra su izmjerene u šumskoj sastojini i malom šumskom otvoru. Ove razlike u odnosu na istraživanja Lee (1978) te Stoutjesdijk i Barkman (1992) može se objasniti i različitim stanišnim čimbenicima te strukturnim elementima istraživanih otvora i sastojina.

Zbog veće površine velikog šumskog otvora, u njemu je izmjereno veće sunčevo zračenje u odnosu na mali šumski otvor. Zbog manje temperature zraka i manje brzine vjetra, vlaga tla je bila veća u velikom šumskom otvoru u odnosu na mali šumski otvor.

Uspoređujući mikroklimu vitalne i sastojine smanjene vitalnosti, utvrđena je značajno veća vlaga tla u vitalnoj sastojini. Prema rezultatima istraživanja vlaga tla je bila značajno manja u šumskoj sastojini smanjene vitalnosti. Naime, i ekološke prilike su lošije u starijim sastojinama s rjeđim sklopom i obrastom, jer je evaporacija vode iz tla u tim sastojinama pojačana (Ugarković i dr. 2012).

Relativno užitno svjetlo je bilo veće u sastojini smanjene vitalnosti. Ovi rezultati su objašnjeni stanjem sklopa krošanja i osutosti krošanja u vitalnoj i sastojini smanjene vitalnosti. Sklop krošanja u sastojini smanjene vitalnosti je nepotpun i na mjestima razbijen, a osutost krošanja stabla obične jele je velika (Ugarković 2017). Isto tako krošnje stabala obične bukve su stradale u ledolomu 2014. godine (Pleše 2014). Zbog toga je i osvijetljenost veća u sastojini smanjene vitalnosti.

Prema istraživanjima Ritter i dr. (2005), razlike u mikroklimi otvora i šumske sastojine mogu se smanjiti za svega nekoliko godina nakon formiranja šumskog otvora. Ovi istraživani otvori su bili stari trinaest godina. U tom vremenskom razdoblju dogodila se uspješna u velikom i

neuspješna prirodna obnova ili sukcesija u malom šumskom otvoru. Visina i broj biljaka prirodnog pomlađenja je utjecao na vrijednosti pojedinih mikroklimatskih elemenata kao i na ublažavanje razlika u usporedbi sa šumskom sastojinom.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenog istraživanja, može se zaključiti:

- U velikom šumskom otvoru je bila veća količina oborina, sunčevog zračenja i vlage tla te manja brzina vjetra u odnosu na kontrolnu plohu.
- Nisu utvrđene značajne razlike u temperaturi tla na različitim pozicijama velikog šumskog otvora.
- U malom šumskom otvoru je bila značajno veća temperatura zraka, temperatura tla, sunčevo zračenje, brzina vjetra te značajno manja količina oborina i vlaga tla u odnosu na kontrolu.
- U velikom šumskom otvoru je utvrđeno značajno veće sunčevo zračenje i vlaga tla u odnosu na mali šumski otvor.
- U malom šumskom otvoru je utvrđena značajno veća temperatura zraka, temperatura tla, vlaga zraka, količina oborina i brzina vjetra u odnosu na veliki šumski otvor.
- Vrijednosti relativnog užitnog svjetla su bile najveće u otvorima, a najmanje u kontrolnoj plohi.
- Vlaga tla je bila značajno veća u vitalnoj sastojini u odnosu na sastojinu smanjene vitalnosti.
- Vrijednost relativnog užitnog svjetla je bila veća u sastojini smanjene vitalnosti u odnosu na vitalnu.

LITERATURA

- Albanesi, E., Gugliotta, O.I., Mercurio, I., Mercurio, R. 2008 Effects of gap size and within-gap position on seedlings establishment in silver fir stands. *IForest* 1, 55–59.
- Anon 2012: Osnova gospodarenja gospodarskom jedinicom Kobiljak – Bitoraj ima važenje od 1.1.2012. do 31.12.2021.
- Aussenac, G., 2000. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Ann. For. Sci.* 57. Str. 287-301.
- Latif, Z.A. and Blackburn, A. 2010 The effects of gap size on some microclimate variables during late summer and autumn in a temperate broadleaved deciduous forest. *Int. J. Biometeorol.* 54, 119–129.
- Lee, R. 1978 *Forest Microclimatology*. Columbia University Press. New York. 276 pp.
- Meštrović, Š. 2001 Uređivanje šuma obične jele. U: Prpić, B. (ur.), Obična jela (*Abies alba* Mill.) u Hrvatskoj, Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, str. 529.
- Oršanić, M., D. Drvodelić, D. Ugarković, 2011. Ekološko-biološke značajke hrasta crnike (*Quercus ilex* L.) na otoku Rabu. *Cro. J. F. E.* 32. Str. 31-42.
- Otorepec, S. 1980. Agrometeorologija. Nolit, Beograd, str. 19-20; 28.
- Penzar, I., B. Penzar, 2000: Agrometeorologija. Školska knjiga, Zagreb, str. 173.
- Pleše V. 2014: Štete od ledoloma u Gorskom kotaru 2014. godine. *Hrvatske šume broj 209* (5): 8-10.
- Potočić, N., I. Seletković, 2011. Osutost šumskog drveća u Hrvatskoj u razdoblju od 2006. do 2009. godine. *Šumarski list- posebni broj*. Str. 149–158.
- Ritter, E., Dalsgaard, L., Einhorn, S.K. 2005 Light, temperature and soil moisture regimes following gap formation in a semi-natural beech-dominated forest in Denmark. *For. Ecol. Manage.* 206, 15–33.
- Rozenbergar, D., Mikac, S., Anić, I. and Diaci, J. 2007 Gap regeneration patterns in relationship to light heterogeneity in two old-growth beech-fir forest reserves in South East Europe. *Forestry* 80. 431–443.
- Runkle, J. R., 1982: Patterns of disturbance in some old-growth mesic forest of eastern North America. *Ecology*, 63: 1533-1546.
- StatSoft, Inc. 2003. *STATISTICA for Windows*. Tulsa: StatSoft, Inc.
- Stoutjesdijk, P. and Barkman, J.J. 1992 *Microclimate. Vegetation and Fauna*. Opulus Press. Sweden. 216 pp.
- Ugarković D. 2017: Izvještaj o napretku projekta “Posljedice intenzivnog odumiranja stabala obične jele te sanacija područja odumiranja“. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Str. 12.

Ugarković, D., Seletković, Z., Smaržija B. 2012: Mikroklima šumskih zajednica obične jele (*Abies alba* Mill.) na području Gorskog kotara. Radovi 45 (1): 39-48.

<http://www.specmeters.com/specware/specware-pro/>